



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

# Innovaciones metodológicas en docencia universitaria: resultados de investigación

Coordinadores

José Daniel Álvarez Teruel

Salvador Grau Company

María Teresa Tortosa Ybáñez

Coordinadores  
José Daniel Álvarez Teruel  
Salvador Grau Company  
María Teresa Tortosa Ybáñez

© Del texto: los autores. 2016  
© De esta edición:  
Universidad de Alicante  
Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad  
Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), 2016

ISBN: 978-84-608-4181-4

Revisión y maquetación:  
Salvador Grau Company  
Daniel Gallego Hernández

## 66. Señales, Sistemas y Telecomunicación

---

*M. Romá<sup>1</sup>, J. D. Ballester<sup>1</sup>, J. M. López<sup>1</sup>, T. Martínez<sup>1</sup>,  
J. Selva<sup>1</sup>, Y. Márquez<sup>1</sup>, E. Martín<sup>1</sup>, B. Pueo<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Grupo Señales, Sistemas y Telecomunicación

<sup>2</sup>Departamento de Didáctica General y Didácticas Específicas  
Universidad de Alicante

RESUMEN. Entrenar el proceso de medida y ajuste de sistemas de refuerzo sonoro en entornos universitarios presenta claros problemas de infraestructura, pues cada estudiante debería tener acceso a un sistema de refuerzo, un sistema de medida y un sistema de procesado. Los sistemas virtuales, si están diseñados cuidadosamente permiten, si no prescindir de los sistemas reales, tener una fase previa de experimentación que puede solventar, aunque sea en parte, las carencias de infraestructura mencionadas. En este trabajo se explora la posibilidad de emplear un sistema virtual, basado en medidas sobre un sistema real, para entrenar los procedimientos de ajuste de sistemas de refuerzo sonoro.

*Palabras clave: aprendizaje activo, refuerzo sonoro, laboratorio virtual.*

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Problema**

El ajuste de sistemas de refuerzo sonoro es una práctica que hoy en día se realiza para cualquier acto, concierto, ponencia, obra teatral, etc. que precise de transductores acústicos. Es importante el realizarlo correctamente para permitir una difusión homogénea del sonido en todo el recinto minimizando las sombras acústicas. Esta tarea recae en un técnico o ingeniero de sonido.

En la actualidad, en entornos de aprendizaje, es muy difícil poder experimentar con sistemas de ajuste de refuerzo sonoro. Se precisa de un espacio relativamente amplio y sin demasiado ruido de fondo, transductores (altavoces y micrófonos), herramientas de medición, herramientas de procesado, etc. Un añadido es el problema de enseñar a un grupo de alumnos cómo poder realizar el ajuste de un sistema de refuerzo sonoro, dado que solo un pequeño grupo podría estar experimentando mientras el resto observa.

El objetivo de este proyecto es el facilitar a los estudiantes el poder diseñar sus propios sistemas de refuerzo sonoro sustituyendo el acceso directo a un sistema real con una serie de mediciones ya realizadas. Dichas mediciones serán tanto originales como ajustadas, permitiendo al usuario poder efectuar sus propios cambios y compararlos con los realizados in situ.

## **1.2. Contexto docente**

El trabajo presentado se inscribe principalmente en la asignatura Sistemas Audiovisuales Avanzados (SAA), asignatura obligatoria de cuarto curso, perteneciente a los estudios de Grado en Ingeniería en Sonido e Imagen en Telecomunicación, que se imparten en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante. En el transcurso de la asignatura aproximadamente la segunda mitad del cuatrimestre se dedica al estudio de conceptos y técnicas relacionadas con el tema del diseño y ajuste de sistemas de refuerzo sonoro.

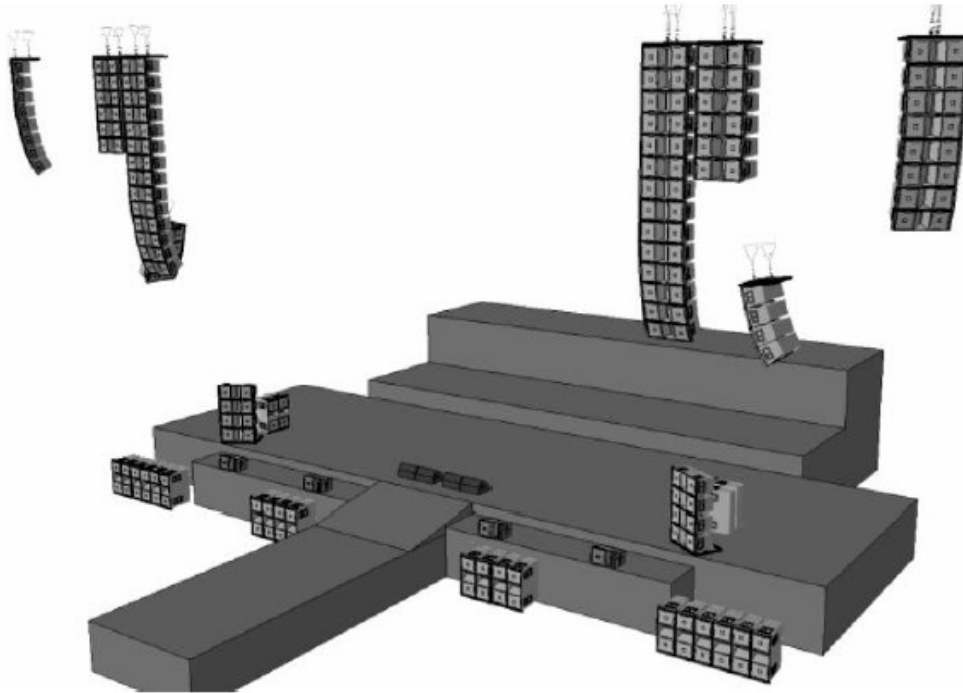
## **1.3. Aspectos básicos de refuerzo sonoro**

El objetivo de un sistema de refuerzo sonoro es permitir que en toda el área de audiencia del recinto en que se instale, se consiga una recepción homogénea con suficiente volumen y fidelidad, que variarán en función del tipo de evento en que se esté trabajando.

En situaciones habituales, esta cobertura no se logra con el sistema principal, por lo que debe ser complementado con sistemas auxiliares que aumenten la cobertura. Este sistema estará dividido en diferentes subsistemas (figura 1.1) con los que se persigue cubrir aquellas zonas de audiencia en las que la señal del sistema principal no llega con suficiente nivel. Algunos de los subsistemas que pueden encontrarse son:

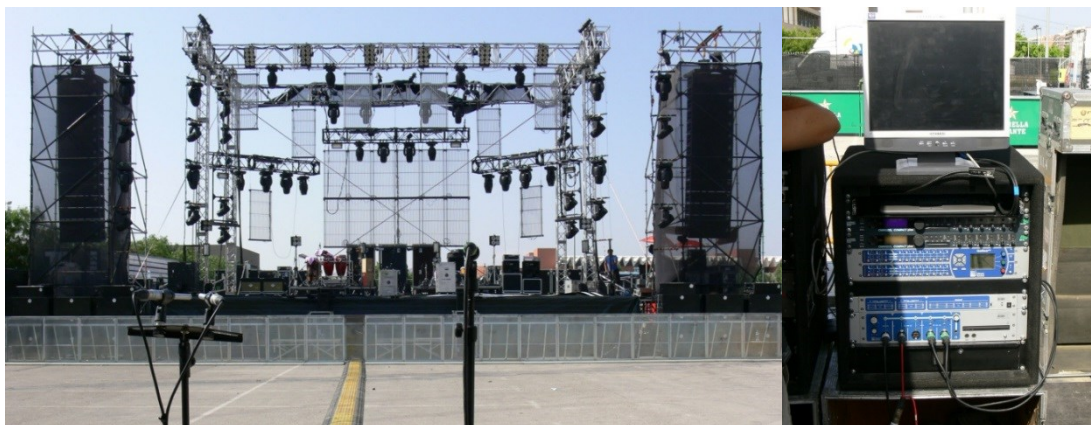
- Subsistema de altavoces medios-agudos: Se puede considerar como el subsistema principal, normalmente colocado a la izquierda y derecha del escenario, en perpendicular a este y que cubre la mayor parte de la audiencia.

**Figura 1.1. Esquema de un sistema de refuerzo sonoro**



- Subsistema de altavoces sub-graves: Se usa como apoyo al subsistema principal en el rango de frecuencias bajas. Se colocan normalmente delante del escenario y cubre también la mayor parte de la audiencia.
  - Relleno frontal (*Front-fill*): Sistema dedicado a cubrir las primeras filas, puede ser colocado en forma de agrupación central o bien a lo largo de la boca del escenario.
  - Relleno lateral (*Side-fill*): subsistema colocado dentro del escenario orientado hacia dentro de éste como sistema de monitorización para los músicos.
  - Relleno exterior (*Out-fill*): Subsistema colocado en la parte exterior del sistema principal pero orientado hacia fuera. Cubre la zona a la que la cobertura horizontal del sistema principal no alcanza en las primeras filas muy laterales.

**Figura 1.2. Ajuste de un sistema de refuerzo sonoro (izquierda) y procesadores del sistema (derecha)**



Debido al elevado número de elementos que componen un sistema de refuerzo, el proceso para conseguir que tales elementos interacciones de la forma necesaria para que se consiga una cobertura homogénea en todo el área de audiencia no es un proceso simple. Es necesario emplear herramientas específicas (cuya explicación excede las pretensiones de este informe) para medir la respuesta de cada subsistema de forma aislada, así como la interacción entre subsistemas, de forma que puedan realizarse las correcciones necesarias para cumplir con los objetivos del sistema diseñado. Para poder entrenar, en entornos docentes, la metodología empleada en el ajuste de sistemas de refuerzo es necesario que los estudiantes tengan acceso al sistema de refuerzo, a las herramientas de medida y a los procesadores del sistema (figura 2.1), lo que es, lógicamente, complicado de conseguir cuando se trabaja con grupos de tamaño estándar.

## **2.-METODOLOGÍA**

El proyecto se centra en el estudio de la viabilidad de emplear un sistema virtual que permita entrenar los procedimientos de medida y ajuste de un sistema de refuerzo sin la necesidad de tener acceso a un sistema real, de forma que se eviten los problemas de logística propios de este tipo de entrenamiento en entornos de universidad pública. Para ello se trabajará con sistemas de simulación de medida y ajuste de libre distribución combinados con una serie de medidas realizadas sobre un sistema real, que recojan los principales procesos de un ajuste concreto.

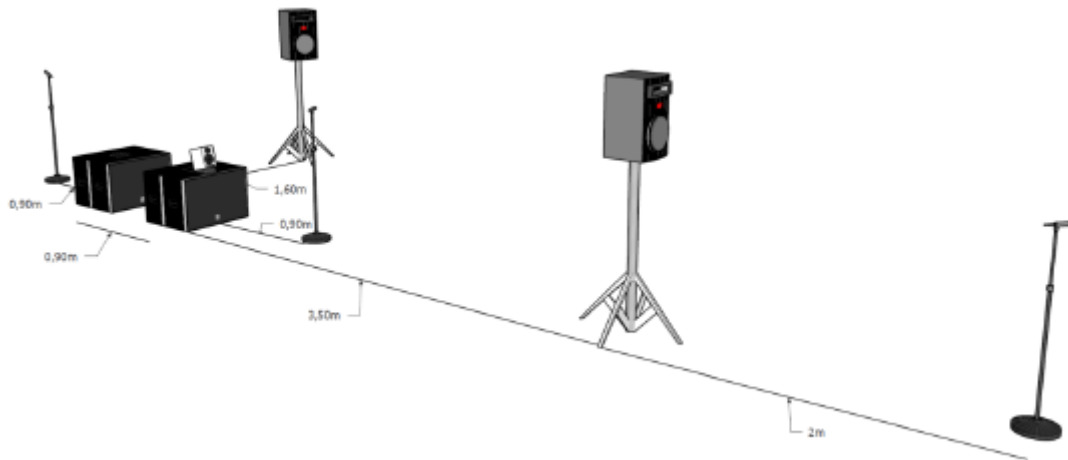
### **2.1. Diseño del sistema real**

Para la realización del proyecto se montó un sistema compuesto por cuatro subsistemas:

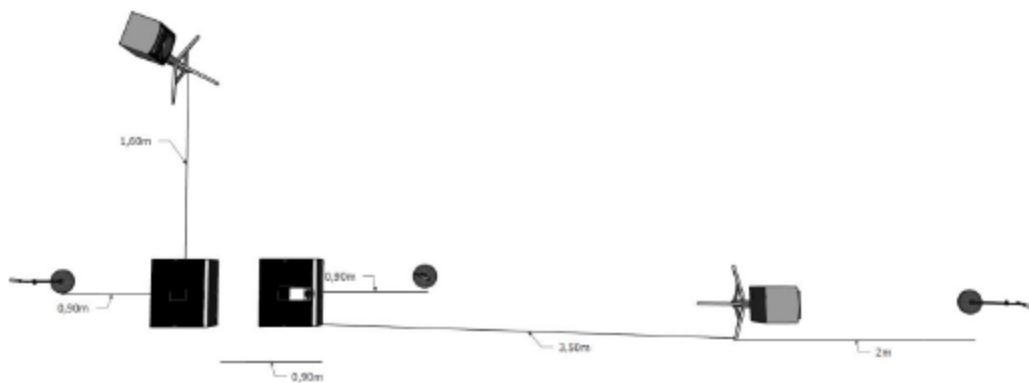
- Sistema principal
- Sistema de refuerzo sub-grave cardioide
- Sistema de relleno frontal (*front-fill*)
- Sistema de retardo (*delay*) para extensión de cobertura

La geometría del sistema montado, así como las posiciones de medición, puede verse en las figuras 2.1 a 2.3.

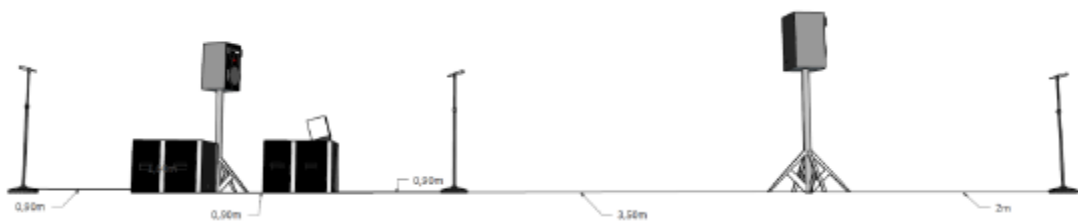
**Figura 2.1. Geometría del sistema montado**



**Figura 2.2. Geometría del sistema montado (planta)**



**Figura 2.3. Geometría del sistema montado (perfil)**



Por simplicidad, y por obtener mediciones más fáciles de interpretar se optó por implementar en el sistema principal un único canal (canal derecho) en lugar del habitual sistema estereofónico que suele verse en la mayoría de las instalaciones. Sin embargo, esto no varía en absoluto ni el procedimiento empleado ni los resultados obtenidos.

El sistema de refuerzo recibe señal de un procesador de altavoz profesional, alimentado por la señal generada por un software profesional de análisis.

La figura 2.4 muestra el sistema real montado para el proyecto con el micrófono de medida (mostrado en primer plano) colocado en la posición empleada para el ajuste del sistema de retardo (*delay*).

En la figura 2.5, por su parte, se aprecia la disposición de las dos cajas de sub-grave para montar el sistema de radiación cardioide, junto con la caja empleada como sistema de relleno frontal (*front-fill*).

**Figura 2.4. Vista general del sistema montado**



**Figura 2.5. Detalle del subsistema de sub-graves cardioide y del subsistema de refuerzo frontal**





## 2.2. Realización de ajuste y medidas del sistema real

Para poder evaluar el sistema propuesto, así como para obtener datos con los que implementar el procedimiento virtual de ajuste, se realizaron, sobre el sistema montado, los siguientes procedimientos de ajuste:

- Ajuste del subsistema de sub-graves cardioides.
- Ajuste entre el sistema principal y el subsistema de sub-graves.
- Ajuste entre el sistema principal y el subsistema de relleno frontal (*front-fill*).
- Ajuste entre el sistema principal y el subsistema de retardo (*delay*).

Se trata de una réplica del procedimiento que se seguiría en el caso de la optimización de un sistema empleado para el refuerzo de un evento a gran escala. En todos los casos se busca controlar la interacción de cada uno de los subsistemas con respecto al sistema principal del sistema.

En las figuras 2.6 y 2.7 puede verse, a modo de ejemplo, la medida de la función de transferencia (módulo y fase) de la interacción entre el sistema principal y el sistema de retardo antes y después del proceso de ajuste.

Figura 2.6. Respuesta de la interacción principal-retardo antes del ajuste

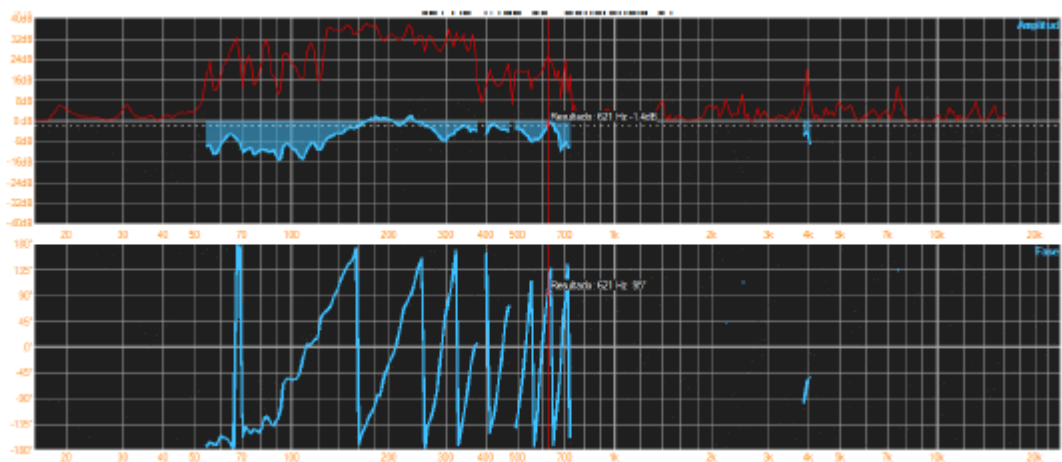
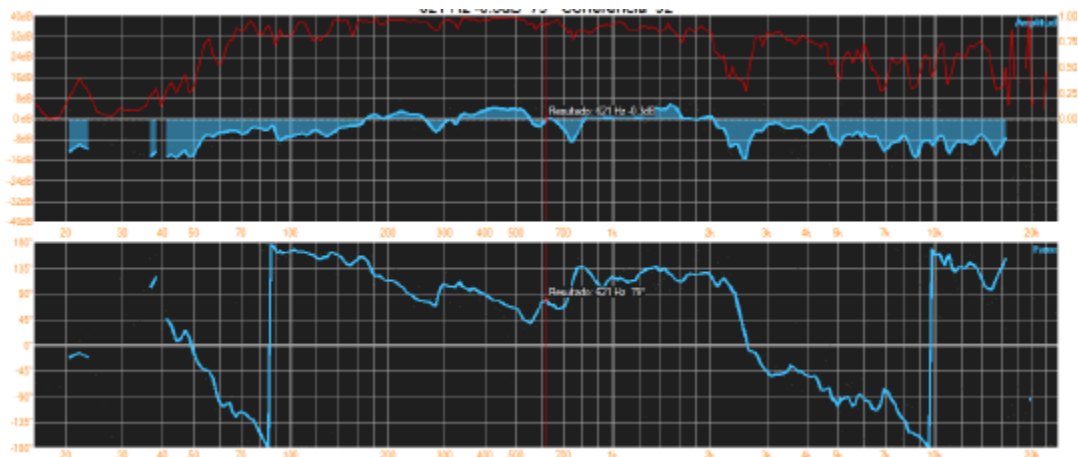


Figura 2.7. Respuesta de la interacción principal-retardo después del ajuste

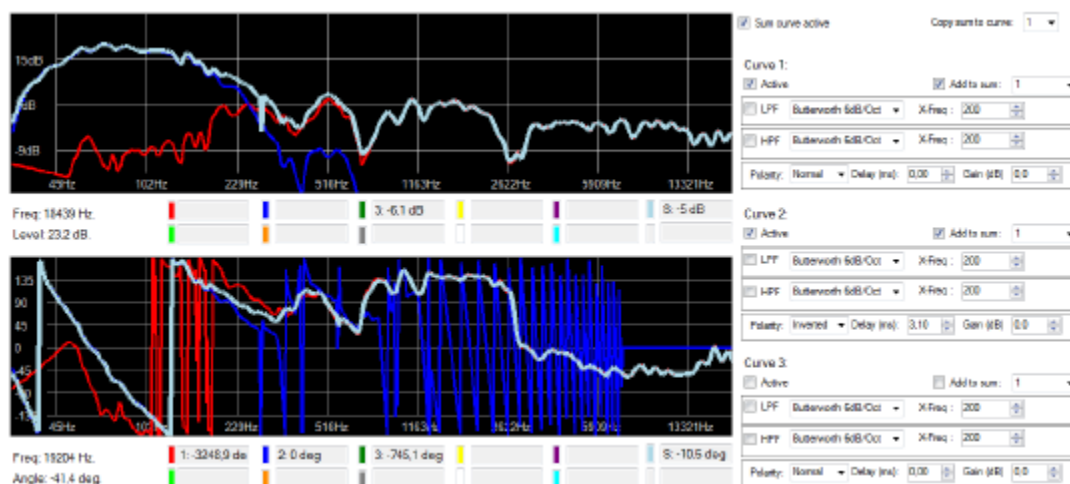


De cada uno de los pasos del proceso de ajuste se realizaron medidas de respuesta al impulso y función de transferencia así como un registro de los parámetros empleados en el procesador para su posterior validación (o no) en el sistema virtual.

### 2.3. Réplica virtual del ajuste de refuerzo

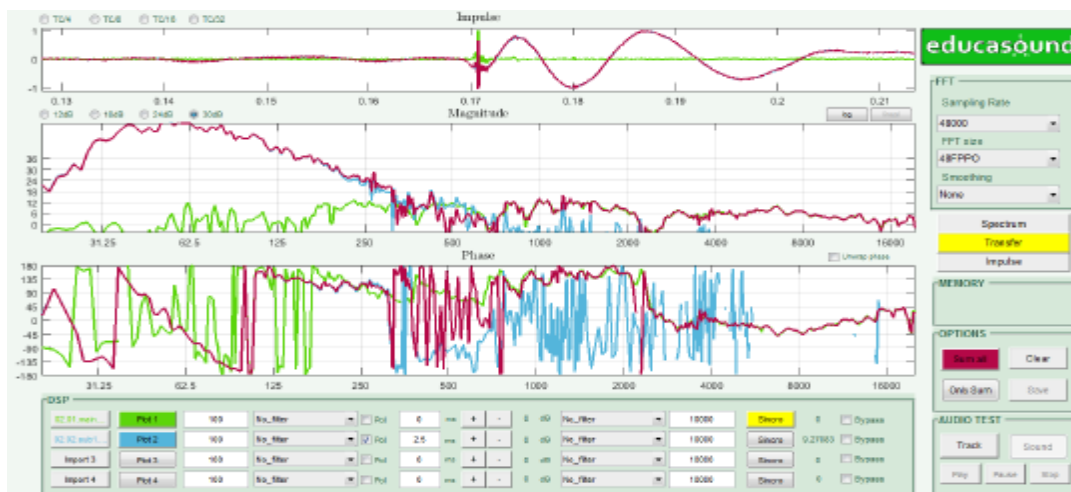
Para la realización de ajuste virtual del sistema de refuerzo se han empleado dos aplicaciones de libre distribución que reproducen los elementos básicos involucrados en el proceso de ajuste, un sistema de medida y un sistema de procesado. Estas aplicaciones permiten cargar los datos de la repuesta medida de varios sub-sistemas, representar gráficamente su repuesta así como la respuesta que se tendría al combinarlos y al modificar los parámetros de los mismos mediante procesadores digitales. Puesto que escapa del ámbito del presente proyecto, se van a omitir los detalles técnicos de las herramientas empleadas. La primera de ella recibe el nombre de VirtualFFT (figura 2.8), y ha sido desarrollada por el ingeniero chileno Sebastián Rivas. VirtualFFT utiliza como datos de entrada la respuesta de función de transferencia.

Figura 2.8. Captura de pantalla de la aplicación VirtualFFT



La segunda aplicación se conoce como RiTA (figura 2.9) y ha sido desarrollada por el ingeniero Pepe Ferrer. RiTA emplea como datos de entrada la repuesta al impulso.

Figura 2.9. Captura de pantalla de la aplicación RiTA



### 3. RESULTADOS

En este apartado se presentará un resumen de las medidas realizadas (la toma de datos) para ser empleadas con las herramientas presentadas en el apartado 2.3. A continuación se presentará la comparación del real con el virtual empleando cada una de las dos herramientas de un sub-sistema como muestra para finalizar con una comparación entre los parámetros de ajuste del sistema real y los obtenidos por el sistema virtual empleando las dos herramientas.

#### 3.1. Medidas realizadas

La tabla I presenta un resumen del proceso de toma de datos sobre el sistema real capturando la información de función de transferencia. Se trata de un conjunto intensivo de datos que incluye información de todos los pasos intermedios por los que pasa en el proceso de ajuste, que permite, empleando el software VirtualFFT, comparar el proceso virtual con el real, no únicamente en el estado final de ajuste, si no en todos los pasos seguidos para conseguir el ajuste.

**Tabla I. Medidas realizadas, posición de micrófono y parámetros de ajuste con captura de la función de transferencia**

Nombre del fichero	Descripción	Ajuste realizado
Subsistema Cardioide		
01.01.dela.sub2.pre	Micrófono delante pre-ajuste subgrave delantero	-
01.02.dela.sub1.pre	Micrófono delante pre-ajuste subgrave delantero	-
01.03.tras.sub1.pre	Micrófono detrás pre-ajuste subgrave delantero	-
01.04.tras.sub2.pre	Micrófono detrás pre-ajuste subgrave trasero	-
01.05.tras.sub12.pre	Micrófono detrás pre-ajuste ambos subgraves	-
01.06.tras.sub2.gan	Micrófono detrás post-ajuste subgrave trasero	-3.1 dB
01.07.tras.sub2.gandelay	Micrófono detrás post-ajuste subgrave trasero	2.43 ms
01.08.tras.sub2.gandelaypola	Micrófono detrás post-ajuste subgrave trasero	Cambio de polaridad
01.09.tras.sub12.post	Micrófono detrás post-ajuste ambos subgraves	-
01.10.dela.sub12.post	Micrófono delante post-ajuste ambos subgraves	-

Subsistema Main/Subgrave		
02.01.main.pre	Main pre-ajuste	-
02.02.sub1.pre	Subgrave pre-ajuste	-
02.03.mainsub1.pre	Main/Subgrave pre-ajuste	-
02.04.sub1.post	Main post-ajuste	3.15 ms
02.05.mainsub1.post	Subgrave post-ajuste	-
Subsistema Main/Cardioide		
03.01.maincard	Main/Cardioide	-
Subsistema Main/Frontfill		
04.01.main.pre	Main pre-ajuste	-
04.02.front.pre	Frontfill pre-ajuste	-
04.03.mainfront.pre	Main/Frontfill pre-ajuste	-
04.04.front.post	Frontfill post-ajuste	4.33 ms APF 5.7kHz Fase180°
04.05.mainfront.post	Frontfill post-ajuste	-
Subsistema Main/Delay		
05.01.main.pre	Main pre-ajuste	-
05.02.delay.pre	Delay pre-ajuste	-
05.03.maindelay.pre	Subsistema pre-ajuste	-
05.04.delay.post	Main post-ajuste	12.92 ms -1.4dB
05.05.maindelay.post	Delay post-ajuste	-
Global		
06.01.mainsub12delay.post	Medida del conjunto	-

En la tabla II se presentan las medidas realizadas almacenando la respuesta al impulso para su utilización con RiTA. En este caso, puesto que los pasos intermedios ya estaban capturados en formato de función de transferencia, se optó por capturar únicamente la respuesta al impulso de cada subsistema independiente empleado en cada uno de los ajustes realizados.

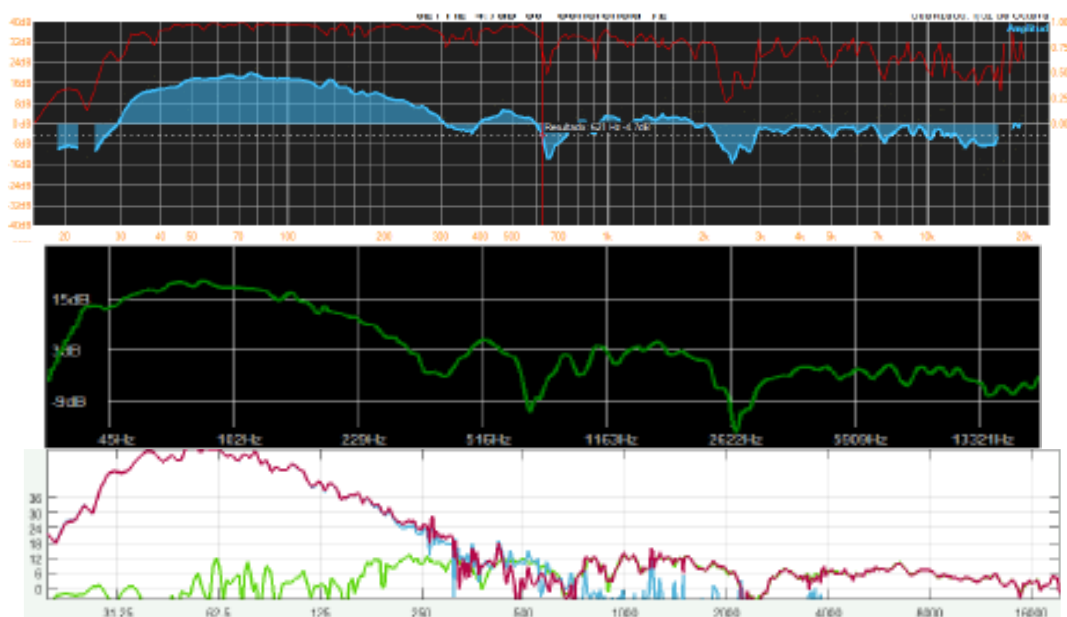
**Tabla II. Medidas de respuesta al impulso realizadas**

Nombre del fichero	Descripción	Ajuste realizado
<b>Subsistema Cardioide</b>		
01.01.sub1	Micrófono detrás subgrave delantero	-
01.02.sub2	Micrófono detrás subgrave delantero	-
<b>Main-Subgraves-Frontfill</b>		
02.01.main	Main	-
02.02.sub1	Subgrave delantero	-
02.03.sub2	Subgrave trasero	-
02.04.frontfill	Frontfill	-
<b>Main-Delay</b>		
03.01.main	Main	-
03.02.delay	Delay	-

### **3.2.-Comparación entre el resultado del ajuste real con el virtual**

En este apartado se presenta, como muestra, el resultado final del ajuste entre el subsistema de sub-graves con el sistema principal realizado con el sistema real, con los resultados del mismo ajuste realizado de forma virtual empleando VirtualFFT y RiTA. La figura 3.1 muestra la amplitud de la medida de función de transferencia obtenida midiendo el sistema real así como con las herramientas de simulación.

**Figura 3.1. Comparación del resultado de ajuste Principal-Sub medido (superior), simulado con VirtualFFT (medio) y simulado con RiTA (inferior)**



### 3.3. Análisis de resultados de ajuste

En este apartado se comparan los parámetros de ajuste obtenidos, para cada uno de los casos estudiados, entre el sistema real y los dos simuladores. Como puede verse en los resultados mostrados, la similitud en los parámetros de ajuste puede considerarse validación del sistema virtual de ajuste propuesto.

#### 3.3.1.- Ajuste de sub-grave cardioide

**Tabla III. Parámetros de ajuste del sistema de sub cardioide**

	Retardo (ms)	Ganancia (dB)	Otros
SATLive	2.43	-3.1	Cambio de polaridad
Virtual FFT	2.20	-3.0	
RiTA	2.40	-3.0	

#### 3.3.2.- Ajuste entre sistema principal y sub-grave

**Tabla IV. Parámetros de ajuste main/sub**

	Retardo (ms)	Ganancia (dB)	Otros
SATLive	3.15	0	Cambio de polaridad
Virtual FFT	3.10	0	
RiTA	2.50	0	

### 3.3.3. Ajuste entre sistema principal y el relleno frontal

Tabla V. Parámetros de ajuste main/front-fill

	Retardo (ms)	Ganancia (dB)	Otros
SATLive	4.33	0	All Pass Filter 5.75KHz Fase 180°
Virtual FFT	4.0	0	-
RiTA	4.43	0	-

### 3.3.4. Ajuste entre sistema principal y el retardo

Tabla VI. Parámetros de ajuste main/delay

	Retardo (ms)	Ganancia (dB)	Otros
SATLive	12.92	-1.4	-
Virtual FFT	11.90	-1.5	-
RiTA	12.85	-2.0	-

## 4. CONCLUSIONES

Diseñar la estructura para poder entrenar los procesos de ajuste de sistemas de refuerzo sonoro debe superar claros problemas debidos, principalmente, a limitaciones de material (imposibilidad de permitir a cada estudiante el acceso a un sistema real) junto con los tamaños estándar de los grupos de prácticas establecidos en el entorno de la universidad pública. Esta limitación puede solventarse empleando sistemas de simulación.

Se ha montado y medido un sistema real de refuerzo sonoro para obtener datos con los que implementar un sistema virtual de ajuste de tales sistemas.

Los parámetros de ajuste empleando herramientas basadas tanto en respuesta al impulso como en función de transferencia han resultado muy similares a los obtenidos realizando el ajuste trabajando con el sistema real.

Es posible emplear un sistema virtual que, a partir de los datos obtenidos del análisis y medida de un sistema real, que permite realizar, paso por paso, el sistema de ajuste de un sistema de refuerzo sonoro de gran escala, obteniéndose parámetros de ajuste de alto realismo.



## 5. DIFICULTADES ENCONTRADAS

La principal dificultad encontrada en la realización del presente trabajo se ha debido a la baja temporal, por diferentes motivos, de dos personas integrantes de la red, lo que ha obligado a reorganizar el trabajo.

## 6. PROPUESTAS DE MEJORA

Para este caso es difícil elaborar una propuesta de mejora, aunque la creación de un grupo de trabajo a través de la herramienta Campus Virtual ha facilitado algo la situación. Igualmente se está valorando la opción de emplear alguna herramienta de trabajo colaborativo on-line que permita el acceso simultáneo al material de trabajo desde distintas localizaciones.

## 7. PREVISIÓN DE CONTINUIDAD

A partir del trabajo realizado es necesario organizar el material y definir sesiones de trabajo así como el material guía para la realización de las prácticas. Además, sería interesante poder comparar las curvas de aprendizaje trabajando exclusivamente los sistemas reales y trabajando previamente con sistemas virtuales.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Davis, G., Jones, R., (1990): The sound reinforcement handbook, HalLeonard.
- Davis D., Patronis. E., (2006): Sound Systems Engineering, Focal Press.
- Ferrer, P. (2011): «Polaridad vs. fase» en Configuración, diseño y optimización de sistemas, <<http://peperrersonido.blogspot.com.es/2011/03/polaridad-vs-fase.html>>, [consulta realizada el 20/03/2015].
- La Roda, J. (2009): Ajuste de fases entre subgraves y unidades de medios-agudos, pdf, <[http://www.doctorproaudio.com/doctor/cajondesastre/pdfs/Bajado\\_de\\_DoctorProAudio\\_com-Ajuste\\_de\\_fase-Joan\\_La\\_Roda-DAS\\_Audio.pdf](http://www.doctorproaudio.com/doctor/cajondesastre/pdfs/Bajado_de_DoctorProAudio_com-Ajuste_de_fase-Joan_La_Roda-DAS_Audio.pdf)>, [consulta realizada el 17/04/2015].
- McCarthy, B. (2009): Sistemas de Sonido: Diseño y optimización: Técnicas y herramientas modernas para el diseño y alineación de sistemas de sonido, Alvalena.
- Digón, A., Ferrer, P., (2014): Configuración y ajustes de Sistemas de sonido: Curso práctico, Altaria